

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

Année 1911

THÈSE

N°

263

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

PRÉSENTÉE

Par M. JOACHIM-LEON CARVALLO

Né le 20 Février 1869, à Don Benito (Badajoz), Espagne.

MÉTHODE RADIOCHRONOPHOTOGRAPHIQUE

APPLICATIONS DE CETTE MÉTHODE

A L'ÉTUDE DES MOUVEMENTS DE L'APPAREIL DIGESTIF

Président : CHARLES RICHET, professeur.

Le candidat répondra aux questions qui lui seront faites sur les diverses parties de l'enseignement médical.

PARIS

MASSON ET C^{ie}, ÉDITEURS

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN

1911 .

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

Doyen.		M. LANDOUZY.
Professeurs		MM.
Anatomie		NICOLAS.
Physiologie		CH. RICHET.
Physique médicale		GARIEL.
Chimie organique et chimie générale		GAUTIER.
Parasitologie. Histoire naturelle médicale.		R. BLANCHARD.
Pathologie et thérapeutique générales.		ACHARD.
Pathologie médicale	{	WIDAL.
		N...
Pathologie chirurgicale		LANNELONGUE.
Anatomie pathologique		PIERRE MARIE.
Histologie		PRENANT.
Opérations et appareils		HARTMANN.
Pharmacologie et matière médicale		POUCHET.
Thérapeutique		MARFAN.
Hygiène		CHANTEMESSE.
Médecine légale		THOINOT.
Histoire de la médecine et de la chirurgie		CHAUFFARD.
Pathologie expérimentale et comparée		ROGER.
	{	HAYEM.
Clinique médicale		GILBERT.
		DEBOVE.
Maladies des enfants		LANDOUZY.
Clinique de pathologie mentale et des maladies de l'encéphale.		HUTINEL.
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques.		GILB. BALLET.
Clinique des maladies du système nerveux		GAUCHER.
		DEJERINE.
Clinique chirurgicale	{	RECLUS.
		SEGOND.
		QUÉNU.
Clinique ophtalmologique.		PIERRE DELBET.
Clinique des maladies des voies urinaires.		DE LAPERSONNE.
		ALBARRAN.
	{	PINARD.
Clinique d'accouchements.		BAR.
		RIBEMONT-
		DESSAIGNES.
Clinique gynécologique		POZZI.
Clinique chirurgicale infantile		KIRMISSON.
Clinique thérapeutique		ALBERT ROBIN.

Agrévés en exercice :

MM. BALTHAZARD	MM. DESGREZ	MM. LECÈNE	MM. OMBRÉDANNE
BERNARD	DUVAL (Pierre)	LENORMANT	PROUST
BRANCA	GOUGEROT	LEQUEUX	RATHERY
BRINDEAU	GREGOIRE	LERI	REITTERER
BROCA (And.)	GUÉNIOT	LOEPER	RICHAUD
BRUMPT	GUILLAIN	MACAIGNE	ROUSSY
CAMUS	JEANNIN	MAILLARD	ROUVIERE
CARNOT	JOUSSET (A.)	MORESTIN	SCHWARTZ
CASTAIGNE	LABBÉ (Marcel)	MULON	SICARD
CHEVASSU	LANGLOIS	NICLOUX	TERRIEN
CLAUDE	LAIGNEL	NOBECOURT	TIFFENEAU
COUVELAIRE	LAVASTINE	OKINCZYC	ZIMMERN

Secrétaire de la Faculté : M. DESTOUCHES.

Par délibération en date du 9 décembre 1793, l'Ecole a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A MON ÉMINENT MAÎTRE

M. LE PROFESSEUR CHARLES RICHET

MEMBRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE
OFFICIER DE LA LÉGION D'HONNEUR

Hommage de profond dévouement,

J. CARVALLO.



MÉTHODE

RADIOCHRONOPHOTOGRAPHIQUE

APPLICATIONS DE CETTE MÉTHODE

A L'ÉTUDE DES MOUVEMENTS DE L'APPAREIL DIGESTIF

I. — Historique.

Grâce aux rayons X, nous pouvons aujourd'hui entreprendre l'étude des mouvements des viscères et des organes internes du corps, dans des conditions tout à fait normales. Pour ce qui a trait à l'appareil digestif, on sait, depuis les ingénieuses recherches de Cannon¹, de Roux et de Balthazard², en 1897, qu'il suffit de mélanger intimement aux matières alimentaires une certaine dose de sous-nitrate de bismuth, sel opaque aux rayons X, pour rendre apparent le contenu des organes digestifs et pouvoir ainsi observer les mouvements de leurs parois.

Ces auteurs se sont principalement contentés d'étudier sur l'écran les contractions des organes digestifs dont ils ont donné de mémoire une description approximative. Il est vrai qu'ils affirment avoir pu dessiner sur un papier transparent, appliqué contre la surface fluorescente de l'écran, les changements de forme de ces organes, mais, ainsi que le montrent nos expériences, le tube digestif des mammifères présente des mouvements tellement complexes et

1. CANNON : *American Journ. of Physiol.*, 1898, et *American Physiol. Soc.*, mai 1897.

2. ROUX et BALTHAZARD : *Soc. de Biol.*, 1897, et *Arch. de Physiol.*, 1898.

rapides qu'il est très difficile de suivre ces mouvements avec les yeux et à plus forte raison avec les mains.

Cannon¹ a fait quelques radiographies isolées du tube intestinal du chat, animal sur lequel il opérait, mais ces épreuves sont très floues et ne donnent pas une idée bien nette des changements de forme de l'intestin. Cet auteur a bien essayé d'éviter le flou des images en faisant agir les rayons X sur la plaque photographique, à peu près au même moment de la respiration. Malheureusement, le temps de pose était encore trop long par rapport à la vitesse des mouvements des anses intestinales, qui est considérable.

Roux et Balthazard se sont aussi rendu compte de la difficulté qu'on éprouve à radiographier les organes digestifs des mammifères et surtout des gros mammifères, car dans leurs recherches sur les mouvements de l'estomac de l'homme et du chien, ils se sont limités à faire la radioscopie simple de cet organe. C'est seulement dans leurs expériences sur la grenouille qu'ils ont utilisé les procédés radiographiques et afin de montrer exactement la façon d'opérer de ces auteurs, nous transcrivons ici la partie de leur travail où ils décrivent leur méthode : « Grâce à l'extrême transparence du corps de l'animal (grenouille), on peut obtenir des radiographies de l'estomac, avec un temps de pose ne dépassant pas une seconde environ, durée suffisante pour avoir une image nette, assez courte pour que la forme de l'estomac ne change pas. Aussi avons-nous pu appliquer à l'étude des contractions de l'estomac et de leur propagation le long du tube digestif, la remarquable méthode de M. le Professeur Marey, la *chronophotographie*. Voici comment nous procédons : Sur une pellicule de 3 centimètres de largeur et de 75 centimètres de longueur, nous prenons 12 radiographies successives à intervalles réguliers. Le châssis que nous avons construit est protégé par une plaque de plomb de 3 millimètres d'épaisseur contre la pénétration des rayons X. Dans cette plaque est ménagée une ouverture de 3 cm. sur 5 devant laquelle on place la grenouille. Une seconde plaque de plomb, placée à l'intérieur du châssis, protège la partie impressionnée de la pellicule. Pour prendre une série de radiographies, on opère en pleine lumière, le châssis étant fermé par un volet de bois que traversent

1. CANNON : *American Journ. Physiol.*, 1902.

facilement les rayons X. Le châssis étant fixé en face de l'ampoule, on ferme le circuit à intervalles réguliers pendant une seconde. Dans le temps qui s'écoule entre la prise des deux radiographies successives, à l'aide d'une manivelle on enroule la pellicule sur un axe de façon à la faire avancer de la longueur voulue, devant la fenêtre de la lame de plomb. Nous n'avons pris qu'une radiographie toutes les dix secondes, cette vitesse nous ayant paru suffisante pour étudier la propagation des ondes. Sur le chien et sur l'homme ce procédé n'était pas applicable, etc. »

Tout en rendant hommage à ces auteurs, pour avoir été les premiers qui ont essayé de faire la radiochronophotographie, nous ne pouvons pas considérer leur méthode, comme une méthode bien établie et apte à produire des résultats nets et comparables. En premier lieu, nous ferons remarquer que, contrairement à ce qu'affirment Roux et Balthazard, le temps de pose d'une seconde est trop long pour avoir une image nette de l'appareil digestif en activité d'une grenouille. Lorsqu'on place cet animal entre 15 et 20 degrés, c'est-à-dire à la température du laboratoire, il faut faire, au moins, une radiographie toutes les deux secondes, pour avoir les diverses phases d'un mouvement de l'estomac. Or, nous savons que, pour obtenir une image nette d'un corps en mouvement, le temps de pose ne doit pas dépasser $\frac{1}{25}$ de la période de ce mouvement. Par conséquent, si l'on veut radiographier l'estomac d'une grenouille avec netteté, la prise des images doit être faite en moins de $\frac{1}{10}$ de seconde, et non pas en une seconde, comme le font Roux et Balthazard. Outre cela, la plupart des opérations qui composent cette méthode (fermeture du circuit sur l'interrupteur, déplacement intermittent de la pellicule, etc.), sont faites à la main, de sorte que les épreuves radiographiques ne peuvent pas avoir la même valeur et les intervalles séparant chacune d'elles sur la pellicule doivent être très différents. Nous regrettons beaucoup que ces auteurs n'aient pas publié leurs pellicules radiographiques, telles qu'ils les avaient obtenues, au lieu de nous donner quelques radiographies isolées, très floues d'ailleurs; on verrait ainsi que les critiques que nous leur adressons sont parfaitement justes. Disons enfin, que douze radiographies sont absolument insuffisantes pour donner une idée, même approximative, des phases que traverse l'activité motrice de l'es-

tomac. Dans une seule expérience qui dure plus d'une heure et sur une pellicule de 100 mètres de longueur, nous faisons jusqu'à 2.000 radiographies successives, et, cependant, nous n'avons pas la prétention de croire que toutes les phases intéressantes de la digestion ont été photographiées.

Le professeur von Grützner¹, après avoir une année plus tard, en 1898, répété les expériences de Roux et de Balthazard sur la grenouille et sur le rat, essaye de rendre plus opaque le milieu alimentaire, en utilisant le mercure en nature et dans quelques cas le cinabre. Il arrive par ce procédé à avoir certains phénomènes intéressants de la digestion intestinale, entre autres, l'oscillation des aliments dans l'intestin grêle. Il termine cette partie de son travail en disant « qu'il faudra qu'il passe beaucoup d'étincelles à travers le tube de Röntgen avant de pouvoir connaître le fonctionnement normal de l'intestin par cette méthode ».

En 1902, un médecin hollandais, le Dr P. H. Eykman, de La Haye², se sert également des rayons X pour étudier les mouvements des organes du cou pendant la déglutition, mais il cherche à photographier directement ces organes. Ne pouvant pas les radiographier d'une façon instantanée, cet auteur a eu recours à un artifice qu'il appelle lui-même dans une publication récente³ le procédé *soi-disant instantané*. La rupture du courant primaire, nécessaire à l'éclairage de l'ampoule, était obtenue par l'intermédiaire d'un levier mis en contact avec la *pomme d'Adam*. A chaque déglutition, ce levier se trouvait déplacé et dans sa course il ouvrait le circuit d'un relais, chargé de produire la rupture, mais comme une seule interruption ne suffisait pas à obtenir une image nette des organes en mouvement, le Dr Eykman a dû imposer à son sujet d'expérience le travail pénible d'avaler cent trente fois pour chaque radiographie. « Je parle toujours, dit cet auteur, d'un seul éclat, bien que cette expression ne soit pas tout à fait exacte, attendu que ce seul éclat devait être, à chaque fois, répété environ cent trente fois. » Ainsi donc, pour avoir une dizaine de radiographies repro-

1. VON GRÜTZNER : *Pflügers Arch.*, vol. LXXI.

2. P. H. EYKMAN : *Verhand. d. Konig Akad. te Amsterdam*, 1902; Id. : *Fortschritte den Gebieten der Röntgenstrahlen*, vol. V et VII; Id. : *Archiv der Pflüger*, vol. XCIX et CV.

3. *Journal d Radiologie*, 1908, Bruxelles.

duisant les diverses phases du mouvement des organes du cou, le sujet du D^r Eykman a dû avaler le nombre formidable de treize cents fois. On avouera que le procédé est peu pratique, voyons maintenant s'il est exact. Pour que les radiographies obtenues de cette façon puissent avoir une certaine valeur, il faut qu'il existe, pendant tout le cours de l'expérience, une concordance parfaite, non seulement entre le levier chargé de produire la rupture et la pomme d'Adam, mais aussi entre le mouvement de ce dernier organe et les mouvements des autres organes du cou pendant la déglutition. Les précautions prises par le D^r Eykman pour assurer la première de ces concordances nous semblent tout à fait insuffisantes. Le levier qui commande l'éclairage de l'ampoule se trouve maintenu en contact avec la peau qui recouvre la pomme d'Adam par un simple fil de caoutchouc, dont la tension agit normalement au plan dans lequel se meut le larynx. Or, la peau de cette région étant très mobile, le larynx peut glisser facilement sous elle en changeant ainsi les rapports établis par l'expérimentateur.

D'un autre côté, il est bien difficile d'admettre qu'un acte aussi complexe que la déglutition soit toujours égal à lui-même. Les divers organes qui concourent à cette opération doivent, au contraire, suivant les conditions du travail qu'ils ont à réaliser, modifier leurs mouvements et changer très souvent leur rapport cinématique. Nous n'oserions donc pas prendre le mouvement d'un de ces organes comme point de repère invariable pour l'étude du mouvement des autres. M. Eykman prétend cependant qu'avec son dispositif, la coïncidence des mêmes phases est assurée; mais, s'il en était ainsi, les quelques épreuves radiographiques publiées par cet auteur dans les *Fortschritte der Röntgenstrahlen*, devraient être très nettes. Or, ces épreuves sont tellement floues qu'on a de la peine à voir le contour des organes, si bien que M. Eykman s'est cru dans l'obligation de marquer ceux-ci par un trait de plume.

En résumé, M. Eykman s'est donné beaucoup de mal pour radiographier sur une plaque fixe, par un grand nombre de décharges de rupture, la position des organes du cou à un moment donné de la déglutition, mais ce procédé n'a aucun rapport avec la *radiographie instantanée* et moins encore avec la *radiochronophotographie*, dont le principe consiste à faire une série de radiographies instantanées à des intervalles de temps rigoureusement égaux, sur

une pellicule se déplaçant d'un mouvement intermittent et régulier.

En rédigeant l'article « estomac » du *Dictionnaire de Physiologie* du P^r Richet en 1902, nous avons été frappés de voir que, malgré l'intérêt considérable que présentaient les expériences de Cannon, de Roux et de Balthazard, personne ne s'était encore occupé de perfectionner la méthode employée par ces auteurs, pour l'étude des mouvements digestifs. Nous nous sommes alors décidés à entreprendre cette tâche.

Notre premier désir a été d'avoir une impression d'ensemble sur les phénomènes que nous voulions étudier. Dans ce but, nous avons commencé par faire la radioscopie simple des organes digestifs; mais comme les moyens techniques dont on disposait alors ne nous permettaient pas de poursuivre longtemps cet examen radioscopique, nous avons dû construire l'appareil suivant (fig. 4), qui nous a donné d'excellents résultats. Quatre ampoules, formant moulinet, se trouvent montées sur un axe en bois, perpendiculairement les unes aux autres. Le support de ces ampoules est constitué par deux tubes de verre, dont une des extrémités seulement, celle qui est en relation avec l'ampoule se termine par une partie métallique destinée à permettre le passage du courant induit. L'axe avec ses ampoules tourne très librement sous une table dont il fait partie. Les fils amenant le courant d'induction pénètrent de chaque côté de la table à travers un tube de verre rempli de paraffine et viennent se souder à une lame métallique fixe formant ressort, contre lesquelles buttent les tiges en cuivre de tubes que supportent les ampoules. A chaque quart de tour de l'axe, une ampoule nouvelle vient en contact du courant et pendant qu'elle fonctionne les autres se refroidissent. Cette opération se fait avec une très grande rapidité, de sorte qu'on peut, sans perte de temps appréciable, faire la radioscopie pendant plusieurs minutes et suivre l'évolution complète des phénomènes qu'on étudie.

Afin d'éviter les étincelles qui ne manqueraient pas de se produire au moment du passage des ampoules, nous avons placé entre les deux pôles de la bobine, un exciteur par lequel passe le courant aussitôt qu'il est rompu dans les ampoules. Une autre précaution importante que nous avons prise est celle de recouvrir le dessus de la table d'une plaque en plomb, portant au centre une large fenêtre dont nous pouvions varier les dimensions à volonté

à l'aide d'un double diaphragme également en plomb et mobile. De cette façon, nous avons pu réduire l'éclairage de l'écran fluorescent aux proportions de la région examinée et la vision des phénomènes devenait beaucoup plus nette.

Dans le même but, nous avons fait toutes nos expériences dans la chambre noire et nous avons entouré la table d'un rideau noir afin d'éviter l'action de la lumière directe de l'ampoule sur nos yeux.

Nos recherches ont porté sur toutes les classes des vertébrés. Des types d'animaux très différents, tant au point de vue de l'organisation anatomique de leur tube digestif, comme au point de vue de leur régime alimentaire, ont été choisis pour nos expériences. Tous ces animaux étaient soumis à un jeûne préalable afin de débarrasser plus ou moins leur tube digestif des matières qu'il pouvait contenir, puis nourris avec une pâte alimentaire, formée en général du mélange des substances suivantes : farine, sucre, peptone, sous-nitrate de bismuth, eau ou lait. Dans certains cas, nous avons mélangé le sous-nitrate de bismuth avec la viande triturée ou le pain trempé dans de l'eau ou dans du lait. Rarement, dans quelques expériences sur la truite, nous avons mélangé le sous-nitrate de bismuth directement avec du sang. La proportion dans laquelle nous avons employé le sous-nitrate de bismuth pour rendre au milieu alimentaire l'opacité nécessaire, a varié entre un cinquième et la moitié de la masse totale; mais d'ordinaire notre pâte alimentaire était très riche en bismuth, car nous voulions bien voir ces phénomènes et, pour apprécier les plus fins détails, il faut au moins un tiers de bismuth dans l'aliment. Ces fortes doses de sous-nitrate ne produisent d'ailleurs aucun trouble chez l'animal. Nous avons conservé les espèces les plus différentes longtemps en expérience et nous avons constaté qu'elles se portent très bien.

L'idée courante qui attribue au sous-nitrate de bismuth des propriétés constipatrices est absolument fausse, lorsqu'il s'agit du tube digestif normal. Ce corps, chimiquement très stable et parfaitement insoluble, traverse l'appareil digestif à l'état d'une fine poussière, sans produire la moindre excitation chimique ou mécanique. Si l'on a observé que le sous-nitrate de bismuth arrête la diarrhée dans certains cas d'entérite, c'est probablement parce qu'il protège la muqueuse intestinale enflammée contre les irritations

chimiques des sécrétions et des autres produits qui se forment dans l'intestin.

Les animaux nourris de cette façon étaient portés sur la table d'expérience et soumis à l'observation radioscopique. Le spectacle offert par les organes digestifs en activité est incomparable. Chez les mammifères et chez les oiseaux, les phénomènes présentent une grande complexité et vont avec une rapidité extrême. A peine ces animaux ont fini d'avaler leur repas que déjà la matière alimentaire remplit les anses de l'intestin grêle. En plus de l'estomac qui

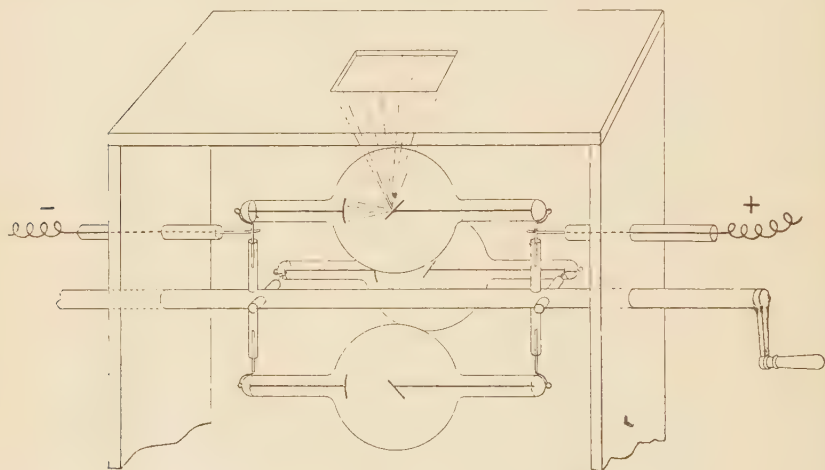


FIG. 1. — Appareil radioscopique à long fonctionnement.

apparaît comme une tache noire, dont la forme et l'orientation changent presque incessamment, on voit les anses intestinales animées des contractions les plus diverses et la matière alimentaire qu'elles renferment, osciller continuellement. Vouloir suivre ces phénomènes sur l'écran est aussi difficile que de suivre avec des jumelles les mouvements des divers soldats dans une bataille. On voit bien, en regardant de temps à autre, que des changements importants se produisent, mais la simple observation radioscopique ne permet pas de reconnaître la loi de ces changements.

Il est vrai que, si l'on limite la vision à une portion isolée du tube digestif, l'œsophage ou l'estomac, on peut, ainsi que l'ont fait Cannon, Roux et Balthazard, saisir un certain nombre de phénomènes intéressants : mais les principaux caractères de ces phéno-

mènes : la forme, la direction, la durée et le rapport existant entre eux, restent à déterminer par une méthode plus précise.

Chez les reptiles, chez les batraciens et chez les poissons, les difficultés qu'on trouve à étudier par la radioscopie les mouvements de l'appareil digestif sont d'ordre inverse. En dehors de quelques espèces, dont les fonctions de digestion sont assez actives, la truite et la grenouille, par exemple, la plupart de ces animaux présentent des mouvements tellement lents qu'on a de la peine, même en prolongeant l'observation plusieurs minutes, à les voir paraître sur l'écran. Les remarques précédentes nous ont fait comprendre que la seule méthode, capable de faire l'analyse de ces phénomènes, était la radiochronophotographie.

Nous nous sommes donc attachés à établir cette méthode et nous avons été assez heureux pour pouvoir obtenir quelques résultats intéressants, au bout d'une année de travail. Ces résultats ont été communiqués pour la première fois à l'Association internationale de l'Institut Marey, le mois d'avril de l'année 1906. Postérieurement, en 1907, ils ont fait l'objet d'un double rapport présenté à l'Association internationale des Académies et au Congrès international des physiologistes de Heidelberg. Ce rapport a été publié dans les *Archives internationales de Physiologie* la même année. Enfin, nous avons fait avec notre méthode des démonstrations expérimentales au Congrès de Heidelberg et, pour terminer la séance qui nous avait été accordée, nous avons projeté plusieurs pellicules cinématographiques reproduisant les mouvements digestifs d'un grand nombre d'animaux.

Malgré la publicité que nous avons faite sur nos expériences, le Dr Eykman de La Haye semble les ignorer, car il s'exprime ainsi dans une communication qu'il vient de faire au I^{er} Congrès international d'Electrologie et de Radiologie médicales, tenu à Amsterdam, le 3 septembre 1908, et dont le compte rendu a été publié dans la *Revue Lux de Hollande*, octobre 1908, et dans le *Journal de Radiologie*, novembre 1908 : « Permettez-moi d'attirer votre attention sur des expériences déjà anciennes à la vérité, puisque je les ai exécutées en 1901, expériences relatives à la photographie du mouvement par les rayons Röntgen au moyen du procédé soi-disant instantané (Röntgenocinématographie) ! expériences qui sont cependant encore dignes de toute notre attention,

car, depuis cette époque, elles n'ont été poursuivies par personne, et, par conséquent, n'ont pas été surpassées. »

Nous avons déjà dit ce que nous pensons de ces premières expériences du D^r P. H. Eykman. Cet auteur parle aussi dans sa communication d'autres expériences qu'il se propose de faire avec des appareils nouveaux qu'il est en train de construire. Nous attendrons les résultats de ces nouvelles recherches pour pouvoir les juger à leur vraie valeur.

II. — Description de la méthode.

L'installation qui nous a permis de radiochronographier les mouvements du tube digestif se compose de trois groupes d'appareils principaux : le *système moteur*, le *chronophotographe* et les *appareils producteurs des rayons X*.

a) SYSTÈME MOTEUR (fig. 2). — Un petit moteur électrique faisant 10 kilogrammètres, lorsqu'il tourne à son maximum de vitesse, 2.000 tours à la minute, sous 50 volts, constitue la seule force du système. Ce moteur est extrêmement souple et peut tourner avec un courant de 10 volts, à 300 tours par minute. Comme le travail qu'il a à réaliser est constant, sa vitesse est très régulière pendant le cours de chaque expérience. La transmission du mouvement du moteur au chronophotographe, se fait directement ou par l'intermédiaire de trois couples d'engrenages, ce qui donne, pour une même vitesse du moteur, quatre vitesses différentes du chronophotographe. La transmission directe est assurée par un lien élastique, qui relie l'arbre du moteur à l'arbre principal du chronophotographe, ces deux arbres se trouvant dans le prolongement l'un de l'autre. Quant à la transmission indirecte, elle se fait, comme nous l'avons dit, par trois couples d'engrenages, montés sur deux arbres parallèles, les uns fixes, les autres sur train baladeur, de sorte qu'en déplaçant celui-ci, on change facilement de vitesse. Afin de diminuer le bruit des engrenages, nous avons fait les plus petits en fibre.

Avec ce système, on peut obtenir les régimes de vitesse les plus différents du chronophotographe depuis 30 tours par seconde jusqu'à 1 tour toutes les quinze secondes. Au-dessous de cette limite,

nous faisons marcher le moteur d'une façon intermittente à des intervalles variant entre vingt secondes et une fois toutes les heures. Le dispositif dont nous servons pour arriver à ce résultat fonctionne avec une grande régularité.

Sur le cadran d'une horloge à pendule, aux points indiquant les heures, se trouve une petite lamelle de platine, montée à ressort, contre laquelle vient butter un petit secteur en ivoire monté sur l'extrémité libre de l'aiguille qui marque les minutes ou les secondes. Ce secteur porte une ou plusieurs lames de contact équidistante, suivant le nombre de fois qu'on désire fermer le circuit entre deux divisions horaires du cadran. Chaque fois qu'une de ces lames du secteur vient toucher une des petites lamelles fixes du cadran, le courant se trouve fermé sur le moteur par l'intermédiaire d'un relai, et on s'arrange, en donnant une largeur suffisante à ces lames, pour que le courant reste fermé sur le moteur jusqu'à ce que le chronophotographe ait fait un tour complet. Malheureusement, la durée de ce contact est très variable à cause du mouvement de l'aiguille qui se fait par saccades. Nous avons dû remédier à cet inconvénient et voici comment. Un déclancheur électro-magnétique, constitué par un grand levier en fer doux et un groupe de deux électro-aimants, se trouve placé en dérivation sur le courant propre du moteur. La fonction de cet appareil consiste à libérer le système de transmission aussitôt que le courant est fermé sur le moteur et à bloquer ce système aussitôt que le chronophotographe a fait un tour. Dans ce but, une des roues des engrenages qui sont placées sur le prolongement de l'arbre du chronophotographe, porte un ergot en acier, contre lequel butte le levier du déclancheur à l'état de repos, mais à peine l'aiguille du cadran ferme le circuit du relai, le courant passe dans le moteur et dans l'électro du déclancheur; le levier d'arrêt est attiré et le système tourne librement. On remarquera sur la figure 2 que le courant passe dans les électros du déclancheur à travers un petit levier à contre-poids actionné par le relais et dont la fonction consiste à fermer brusquement et pendant un temps très court ce courant sur le déclancheur. De cette façon, le système se trouve libéré presque immédiatement après la fermeture du courant sur le moteur et, d'autre part, le levier d'arrêt du déclancheur revient toujours à sa place avant que la roue portant l'ergot ait fait un tour.

Pour éviter que le moteur chauffe pendant le temps que le courant reste fermé sur lui après le blocage du système, nous avons

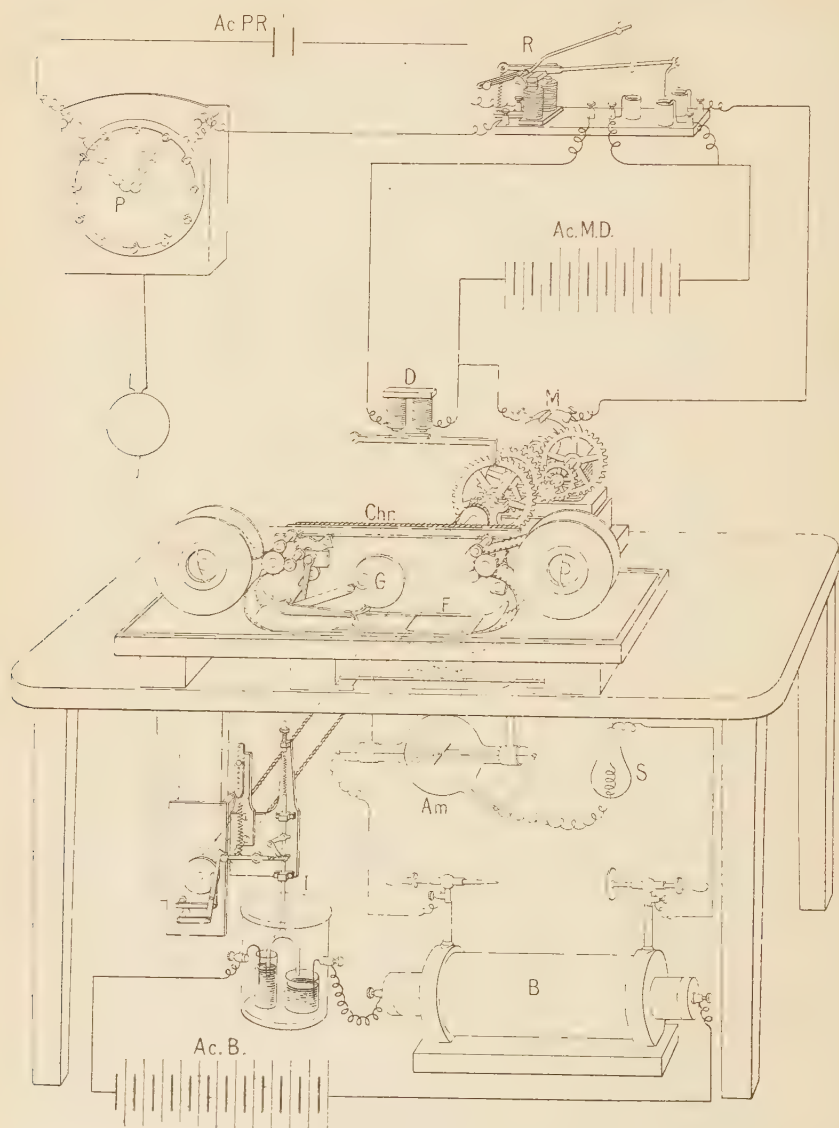


FIG. 2. — Schéma de l'appareil radiochronographique.

placé une friction sur l'arbre secondaire des engrenages qui patine lorsque le système est bloqué et qui est assez forte pour entraîner ce système une fois qu'il est libéré. Les avantages de ces dispositifs

sont incontestables. Tout d'abord, on fait une grande économie de courant, puisque le moteur ne marche que par intermittences et le temps nécessaire pour faire faire un tour au chronophotographe. D'autre part, les reprises du moteur étant fonction de la marche du pendule, les intervalles entre chaque expérience sont très réguliers et comme ces intervalles peuvent être variés à volonté entre vingt secondes et une heure, on peut faire une expérience durant plus d'une semaine, sans la moindre intervention personnelle et sans que rien puisse se déranger.

Le système moteur comporte en outre un organe d'embrayage reliant l'arbre du moteur à l'arbre principal du chronophotographe. Cet organe fonctionne parfaitement pendant la marche du système et permet d'arrêter ou de faire partir le chronophotographe, sans toucher à la marche du moteur.

Enfin, les divers organes qui constituent le système moteur, ainsi que le chronophotographe, sont fixés sur un châssis en fonte, très rigide, de sorte que pendant le travail, même aux plus grandes vitesses, ils n'éprouvent pas des déplacements nuisibles.

b) CHRONOPHOTOGRAPHIE. — On sait que les chronophotographes industriels ont été construits pour marcher avec des pellicules de 35 millimètres de largeur, dont ils débitent une longueur de 48 ou 20 millimètres. Ce débit était insuffisant pour contenir l'image tout entière de l'appareil digestif des animaux sur lesquels nous opérons. D'autre part, cette image ne peut pas être réduite directement, car les rayons X n'obéissent pas aux lois de la lumière ordinaire. Il a donc fallu disposer d'une surface de pellicule assez grande pour contenir ladite image. Nos premières expériences sur les vertébrés inférieurs ont été faites avec un chronophotographe qui débitait 60 millimètres de la pellicule courante à 35 millimètres de largeur.

Plus tard, nous avons modifié ce système et, aujourd'hui, nous nous servons d'un chronophotographe qui fonctionne avec des pellicules de 60 millimètres de largeur, dont il débite à volonté tantôt 28^{mm},8, tantôt 57 millimètres.

Ces pellicules sont fabriquées spécialement pour nous par la maison Lumière de Lyon. Elles offrent l'avantage d'avoir une double épaisseur de couche sensible, ce qui augmente considéra-

blement leur sensibilité aux rayons X. Pour pouvoir se rendre compte de ce fait, il suffit de superposer deux ou trois morceaux de pellicule vierge ordinaire et de les exposer ensemble à une seule décharge de l'ampoule, en faisant la radiographie d'un animal ou d'un objet quelconque. L'image de l'objet apparaît avec la même intensité dans chaque morceau de pellicule, ce qui prouve que les rayons X n'ont rien perdu de leur force en traversant les divers morceaux. Seulement, cette image manque de vigueur et les détails sont à peine visibles. Mais, si l'on regarde

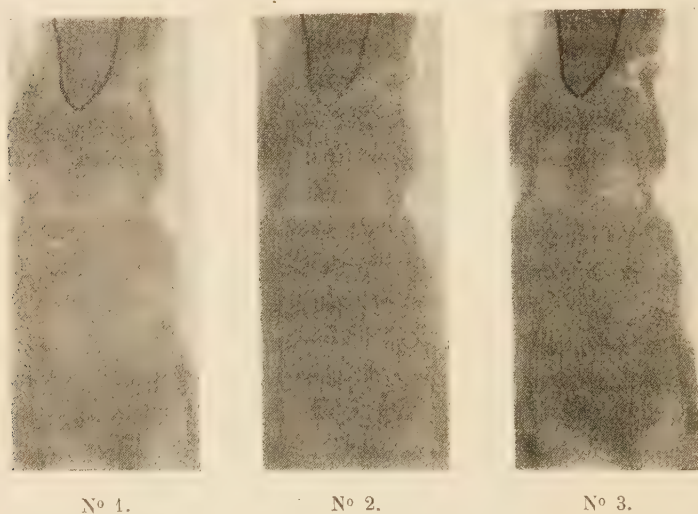


FIG. 3. — Photographies d'une souris avec une seule décharge de rupture, sur deux morceaux de pellicule superposés. Nos 1 et 2, images dissociées; n° 3, images superposées.

la même image en superposant exactement ces morceaux, les contrastes s'ajoutent, tous les détails apparaissent et les noirs deviennent beaucoup plus marqués (fig. 3). C'est cette simple expérience qui nous a décidé à commander les pellicules à double épaisseur de couche sensible et nous en sommes extrêmement satisfaits.

Pour obtenir le déplacement intermittent de la pellicule, nécessaire à la prise des images, nous avons employé, tout d'abord, la croix de Malte, mais nous nous sommes aperçus que ce procédé avait l'inconvénient de faire trop de bruit dans les grandes fréquences et de donner des intervalles peu réguliers à cause des

différences d'épaisseur de la pellicule et de l'entraînement de celle-ci par un cylindre. Notre chronophotographe actuel appartient à la classe des *chronophotographes à griffe*, mais, grâce à un système de leviers établi par M. Noguès, le mouvement de la griffe, pendant le déplacement de la pellicule, est transformé en un mouvement rectiligne et l'entraînement de celle-ci s'opère avec une extrême douceur, même aux plus grandes fréquences, jusqu'à 30 et 35 par seconde. La figure 4 montre les trajectoires décrites par chacun de ces leviers pour transformer le mouvement circulaire du plateau qui les entraîne en un mouvement comme celui que décrit la griffe et dont une partie est absolument rectiligne.

Pour éviter les inconvénients dus à l'inertie des pièces mécaniques dans ces chronophotographes à mouvement intermittent, nous avons bien pensé à faire la radio-chronophotographie sur une pellicule animée d'un mouvement régulier et continu. Malheureusement, cette opération est impossible, car la décharge produite dans l'ampoule par une seule coupure du circuit primaire est une décharge discontinue, donnant plusieurs images, et la durée totale de cette décharge est très variable de $1/200$ à $1/500$ de seconde. On est donc obligé d'arrêter la pellicule pour obtenir des images nettes, et le plus qu'on puisse en faire c'est de 200 à 500 par seconde suivant la période de la décharge.

En plus du système destiné au déplacement intermittent de la pellicule, notre chronophotographe se compose d'un magasin qui renferme la pellicule vierge et de deux cylindres débiteurs, l'un qui prépare la longueur de pellicule que la griffe doit tirer et l'autre qui absorbe la pellicule débitée par celle-ci. Enfin, une bobine à friction, entraînée par un des arbres moteurs du chronophotographe, enroule la pellicule impressionnée jusqu'à une longueur de 100 mètres. Les organes du chronophotographe sont montés sur un plateau métallique d'un centimètre d'épaisseur qui protège efficacement la pellicule contre les décharges successives de l'ampoule. Au centre de ce plateau se trouve une fenêtre carrée de 6 centimètres de côté, dans laquelle passe la pellicule, guidée par un couloir à friction. Afin d'éviter le voile de la pellicule par la lumière normale, on couvre tous les organes du chronophotographe, avec une boîte en carton dont les bords pénètrent dans

une gouttière qui fait tout le tour du plateau métallique et dans laquelle on met au préalable une couche de ouate. Cette boîte se trouve traversée dans son milieu et, à peu près, dans toute sa hauteur, par un tube carré, également en carton, qui porte, à son extrémité inférieure, un écran fluorescent ayant les dimensions de la fenêtre du chronophotographe et s'appliquant directement contre celle-ci. Par ce moyen, nous sommes toujours à même d'observer ce qui se passe chez l'animal sans découvrir la pellicule. Une seule décharge suffit pour voir si l'animal se trouve bien orienté devant la fenêtre, et si les organes digestifs sont arrivés à la phase

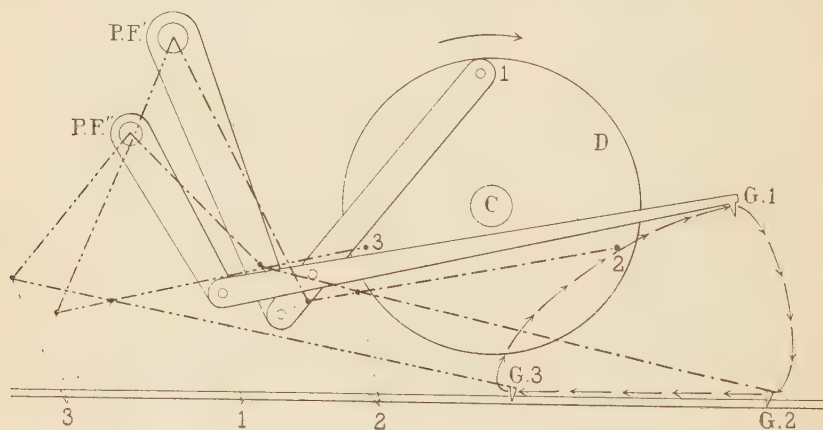


FIG. 4. — Trajectoires décrites par les leviers d'entraînement de la griffe du chronophotographe.

d'activité que l'on désire radiographier. On peut de même, pendant l'expérience, se rendre compte de la marche des phénomènes en regardant par le *viseur* au moment où les étincelles éclatent dans l'ampoule.

Finalement, la fenêtre du chronophotographe se trouve fermée par un morceau de toile noire bien épaisse qui, tout en s'opposant au passage de la lumière normale, se laisse traverser facilement par les rayons X.

c) APPAREILS PRODUCTEURS DES RAYONS X. INTERRUPTEUR, BOBINE ET AMPOULE. — La première question qu'il nous a fallu résoudre, au début de nos expériences (1903-1904) a été celle de savoir si, avec les appareils radiologiques connus à cette époque, on pouvait

faire la radiographie *nette* du tube digestif en mouvement. En prenant comme type d'animal la grenouille et en réglant les appareils radiographiques que nous possédions alors (bobine de Carpentier avec interrupteur électro-magnétique et ampoule à osmo-régulateur de Chabaud-Willard), en vue d'un rendement maximum, c'est-à-dire l'interrupteur à sa plus grande fréquence (30 par seconde) et l'ampoule ni trop molle, ni trop dure. Nous avons pu obtenir plusieurs épreuves radiographiques satisfaisantes en moins d'un cinquième de seconde de pose pour chacune.

Chez les reptiles et chez les poissons, et surtout chez ces derniers à cause de l'opacité de l'eau qui les entoure, le temps de pose devait être plus long de 1/3 à 1/2 seconde, mais comme les mouvements du tube digestif de ces animaux sont plus lents, les radiographies obtenues étaient encore acceptables. Par contre, chez les oiseaux et chez les mammifères, poulet, souris, etc., il nous a été impossible d'obtenir des radiographies nettes du tube digestif en mouvement.

Nous avons donc dû nous contenter de faire nos premiers essais de radiochronophotographie sur les vertébrés inférieurs et voici comment nous opérions à ce moment-là : Sur l'arbre moteur du chronophotographe (fig. 5), nous avons placé une came à escargot, donnant une chute de 2 centimètres. Un levier articulé par son extrémité inférieure sur le plateau du chronophotographe était maintenu en contact par son autre extrémité avec le pourtour de la came à l'aide d'un puissant ressort. Chaque fois que l'entaille de la came arrivait, le levier se trouvait brusquement attiré et donnait pendant sa chute un coup de marteau sur un balancier oscillant chargé de fermer, par l'intermédiaire d'un relais, le circuit sur l'interrupteur. La période d'oscillation de ce balancier étant réglée par un amortisseur, on avait à chaque expérience et indépendamment des variations de vitesse du système moteur, un contact d'égale durée et, par conséquent, des épreuves radiographiques comparables. Ajoutons que la came se trouvait calée sur l'arbre du chronophotographe de façon à faire coïncider le moment de la chute du levier, c'est-à-dire du passage du courant dans l'ampoule avec l'arrêt de la pellicule sensible.

L'emploi de ce procédé nous a été très utile pendant tout le temps que nous nous sommes servis des interrupteurs ordinaires.

donnant plusieurs interruptions pour chaque photographie. Ce procédé avait cependant le défaut de ne pas pouvoir faire plus de quatre ou cinq radiographies par seconde, car la période d'oscillation du balancier était relativement longue, environ $1/5$ de seconde.

1° *Interrupteur*. — Les interrupteurs électro-magnétiques,

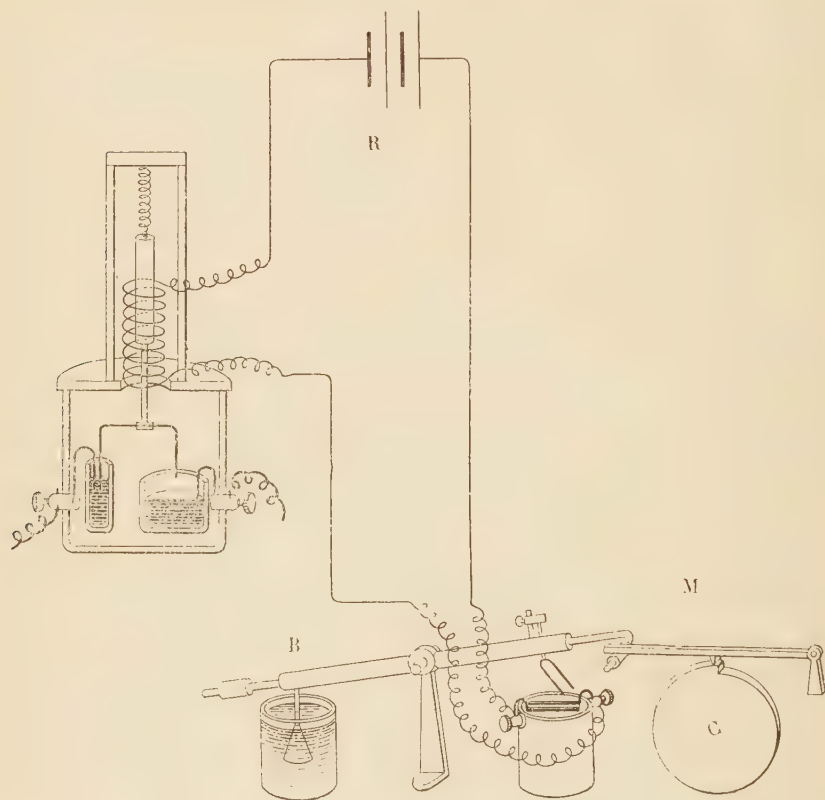


FIG. 3. — Came à escargot, marteau et balancier destinés à fermer le circuit du relais sur l'interrupteur électro-magnétique.

actionnés par la bobine elle-même, présentent l'avantage, lorsqu'ils sont bien réglés, de démarrer aussitôt qu'on ferme le courant primaire sur eux. Malheureusement, ces interrupteurs ont un très mauvais rendement et leur état de fonctionnement change beaucoup pendant l'expérience, de sorte qu'il est impossible de faire avec eux un grand nombre de radiographies comparables.

Les interrupteurs électrolytiques sont encore plus défectueux, car ils exigent des voltages considérables et ne donnent jamais

des épreuves radiographiques comparables à cause de la variabilité et de la complexité des phénomènes qui provoquent les interruptions.

Quant aux interrupteurs mécaniques à moteur indépendant, il faut faire une distinction entre ceux qui produisent la rupture du courant par le déplacement linéaire et alternatif d'une tige de cuivre, qui pénètre dans une masse de mercure et en sort et les *turbines* à mercure. Les premiers sont des interrupteurs à basse fréquence, dont la vitesse de rupture est insuffisante et qui donnent par conséquent un mauvais rendement au point de vue radiographique. Les turbines à mercure sont certainement les meilleurs des interrupteurs de ce genre pour les expériences radiographiques. Avec ces appareils, on peut faire facilement trois interruptions par un tour de la turbine, soit 90 par seconde si on fait tourner la turbine à 30 tours par seconde, ce qui n'a rien d'excessif. La vitesse de rupture de ces interrupteurs est assez grande, 1/300 de seconde au plus si la turbine tourne à 30 tours par seconde et si l'on suppose que la coupure a lieu sur 5 millimètres de longueur.

Il en résulte que la décharge produite par ces interrupteurs est beaucoup plus puissante à égalité des conditions que celle des autres interrupteurs et nous avons pu, avec une de ces turbines, obtenir des radiographies très nettes d'une grenouille en 1/10 de seconde de pose, c'est-à-dire en la moitié du temps qu'il nous fallait employer avec les interrupteurs électro-magnétiques. De plus, les turbines à mercure permettent de faire toute une série de radiographies successives ayant à peu près la même valeur, car elles projettent constamment du mercure propre contre les palettes de contact et les diverses interruptions sont assez comparables entre elles. Néanmoins, au bout d'un certain temps, le mercure, qui est continuellement agité, finit par s'émulsionner avec le pétrole et les interruptions deviennent mauvaises. On peut éviter cet inconvénient en remplaçant le pétrole par l'alcool, mais alors le rendement de l'interrupteur est moins bon, par suite de ce fait que l'alcool est moins résistant que le pétrole et que le temps de rupture devient plus long.

Le grand ennui de ces turbines à mercure, comme celui de tous les interrupteurs qui ne sont pas automatiques, c'est qu'il faut les

actionner par un moteur indépendant et que ce moteur doit marcher tout le temps pendant le cours d'une expérience. Or, si cette expérience se prolonge plusieurs heures, comme c'est le cas, lorsqu'on radiographie des animaux dont la digestion est très lente, l'interrupteur ou le moteur, et quelquefois les deux en même temps, présentent des variations très grandes et les résultats obtenus ne sont pas du tout comparables. Nous avons essayé de remédier à ce défaut en mettant le moteur de l'interrupteur en dérivation dans le même circuit du moteur du chronophotographe, lequel, comme nous l'avons dit, marche par intermittence dans les expériences de longue durée, mais alors, il arrive parfois que l'un ou l'autre de ces moteurs ne démarre pas au moment de la fermeture du courant, ce qui produit des absences regrettables.

Il y a d'ailleurs d'autres critiques qu'on peut adresser d'une manière générale à tous les interrupteurs donnant plusieurs interruptions pour une seule radiographie. En premier lieu, le fonctionnement de ces appareils ne reste jamais constant, tantôt parce que le nombre d'interruptions varie, tantôt parce que la qualité de contact change, tantôt, enfin, parce que la vitesse de la rupture diffère à chaque interruption. D'autre part, la puissance radiographique de ces interrupteurs est relativement faible, car, même en forçant beaucoup l'intensité du courant primaire, 10 à 16 ampères, avec une bobine de Klingelfuss donnant 50 centimètres d'étincelle, nous n'avons pas pu faire la radiographie nette d'une grenouille en moins de 4 à 10 de seconde de pose.

Pour toutes ces raisons, et afin de pouvoir mieux étudier les phénomènes qui se produisent dans le tube de Röntgen à chaque interruption du courant primaire, nous avons cherché à établir un interrupteur ne donnant qu'une seule interruption par expérience et, autant que possible, dans les mêmes conditions. Le procédé qui nous a paru tout d'abord le plus simple pour réaliser cet interrupteur a été de prendre un électro-aimant en forme de solénoïde (fig. 5), dans l'axe creux duquel pénètre un petit cylindre en fer doux, suspendu verticalement à un ressort et portant à son extrémité inférieure un cavalier destiné à fermer le courant primaire de la bobine sur deux godets à mercure placés au fond d'un vase rempli de pétrole. Cet électro-aimant, qui est actionné par un relais, attire, lorsqu'on ferme le courant sur lui,

le petit cylindre en fer doux, lui faisant faire une course verticale de 4 centimètres, au bout de laquelle le cavalier rentre en contact avec le mercure des deux godets. Le courant primaire étant ainsi fermé sur la bobine, on coupait au bout d'un certain temps, toujours le même, le circuit du relais et la rupture se produisait par le rappel brusque du petit cylindre avec son cavalier.

Étant donné que le déplacement du petit cylindre et de son cavalier se faisait dans un plan vertical et que ce mouvement était absolument linéaire, la rupture se produisait dans de très bonnes conditions. D'autre part, la vitesse de cette rupture était constante, puisqu'elle était fonction du ressort et que celui-ci travaillait toujours de la même façon. Nous avons mesuré cette vitesse et nous avons trouvé qu'elle était environ de $1/500$ de seconde, en supposant que l'arc voltaïque, au moment de la rupture dans le pétrole, n'a pas plus de 5 millimètres.

Nous pouvions, naturellement, avec cet interrupteur, faire varier le temps de rupture et de fermeture ensemble ou séparément, comme nous pouvions maintenir constants l'un et l'autre. Enfin, cet interrupteur présentait une faible résistance et son rendement était tel qu'avec un courant de 10 volts une grosse bobine de Klingelfuss donnait son étincelle la plus longue. Au point de vue radiographique, les résultats obtenus étaient assez remarquables et nous croyons avoir été les premiers, grâce à cet interrupteur, à obtenir la radiographie nette d'un animal avec une seule décharge de rupture, autrement dit *l'instantanée radiographique*.

En photographiant sur une pellicule animée d'un mouvement régulier et continu, la décharge produite dans l'ampoule par une grosse bobine de Klingelfuss, actionnée par cet interrupteur, nous avons vu que cette décharge n'était pas continue, mais qu'elle était formée d'une série de raies noires séparées par des intervalles clairs ressemblant beaucoup, par son aspect, à un spectre d'absorption (fig. 6). La durée totale de cette décharge, en tenant compte de la longueur de l'image qu'elle avait laissée sur la pellicule et de la vitesse de déplacement de celle-ci, 2 mètres par seconde, nous a semblé, autant que nous avons pu déterminer les limites de la surface impressionnée être $1/200$ de seconde dans nos premières expériences. Mais nous n'avons pas mis longtemps à nous aper-

cevoir que cette durée variait considérablement avec l'état de vide de l'ampoule, et qu'elle pouvait passer de $1/200$ de seconde à $1/500$, suivant qu'on opérait sur une ampoule molle ou sur une ampoule dure. Dans l'un comme dans l'autre cas, les raies qui composent la décharge et dont nous n'avons jusqu'ici pu compter plus d'une dizaine, sont séparées par des intervalles sensiblement égaux et vont en se dégradant d'intensité jusqu'à la disparition complète. En voyant cette photographie, on ne peut pas s'empêcher de penser à la possibilité de faire la radiochronophotographie instantanée sur une pellicule animée d'un mouvement régulier et continu et avec une seule rupture de courant primaire. Malheureusement, l'aspect flou et effacé des raies provoquées par la décharge, montre que les images de l'objet radiographié seraient presque invisibles si l'on augmentait encore la vitesse de déplacement de la pellicule, comme cela serait nécessaire pour dissocier ces images. D'un autre côté, il ne faut pas oublier que la période de ces raies varie avec la période totale de la décharge et qu'elle oscille entre $1/2.000$ et $1/5.000$ de seconde. On serait donc obligé, pour éviter la superposition des images ou leur trop grand éloignement sur la pellicule, de maintenir absolument constantes les conditions de fonctionnement de l'ampoule, ce qui n'est guère possible, ou bien de déterminer à chaque expérience la durée de la décharge, et de faire varier en conséquence la vitesse de déplacement de la pellicule.

L'état de l'ampoule n'est pas le seul facteur qui modifie l'aspect de la décharge, quoiqu'il soit de beaucoup le plus important. Toutes les conditions qui font varier le fonctionnement de la bobine, influencent aussi la nature de la décharge. Parmi ces conditions, trop nombreuses et que nous n'avons pas encore eu le temps de bien étudier, la vitesse de rupture exerce une action très marquée, non seulement sur la durée de la décharge, mais aussi sur l'intensité des raies noires qui composent cette décharge. Ces raies deviennent de plus en plus prononcées, à mesure que la vitesse de la rupture augmente, toutes autres conditions égales d'ailleurs. Le temps de fermeture du courant exerce aussi son action sur la nature de la décharge, mais avec l'interrupteur dont nous nous servions qui était très peu résistant, le courant atteignait son maximum d'intensité en moins de $1/100$ de seconde

après la fermeture, de sorte que pour voir une différence d'intensité dans les raies provoquées par la décharge, il fallait dépasser cette limite qui permet déjà de faire un grand nombre de radiographies ayant la même valeur.

Disons aussi que la décharge de fermeture donne la même image sur la pellicule que la décharge de rupture, mais moins intense, comme on peut le voir en opérant sans soupape (fig. 6).

En résumé, ces études montrent que la décharge qui donne naissance aux rayons X est une décharge oscillante, comme celle que la bobine produit dans l'air et sujette aux mêmes variations que celle-ci.

Il y a donc intérêt à avoir un interrupteur, peu résistant, assurant le même contact et donnant une vitesse de rupture, aussi

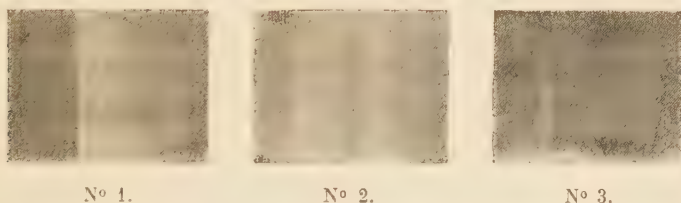


FIG. 6. — Photographie de la décharge de l'ampoule sur une pellicule animée d'une vitesse de deux mètres par seconde. N° 1, ampoule molle, décharge de rupture; n° 2, ampoule plus dure, décharge de fermeture et de rupture; n° 3, ampoule très dure, décharge de rupture.

grande que possible. Celui que nous venons de décrire réalise en partie ces conditions, mais, d'une part, sa vitesse de rupture n'est pas encore assez grande, et, d'autre part, le nombre d'interruptions qu'il peut faire dans l'unité de temps est très limité, cinq ou six par seconde. Chercher à améliorer le rendement de cet interrupteur est une peine tout à fait inutile, car la nature même de son fonctionnement s'y oppose. En effet, si l'on augmente beaucoup le poids du petit cylindre en fer doux, afin de rendre l'attraction de l'électro-aimant plus énergique et de pouvoir bander un ressort plus puissant pour faire la rupture, le travail de ce ressort, au moment du rappel du petit cylindre devient plus grand et la vitesse de rupture au lieu d'augmenter diminue. D'un autre côté, les masses en mouvement étant plus lourdes, leur période d'oscillation devient plus longue et le nombre d'interruptions que l'appareil peut faire dans l'unité de temps diminue.

Le rendement de cet appareil arrive donc à une limite qui ne peut pas être dépassée.

Mais, si au lieu de prendre un électro-aimant pour bander le ressort qui produit la rupture, on prend un système moteur ayant la force suffisante pour étendre un ressort trois ou quatre fois plus puissant, sans augmenter la charge de celui-ci, on aura une vitesse de rupture beaucoup plus grande, et, par conséquent, un meilleur rendement. Si on s'arrange maintenant de façon à ce que le même ressort qui provoque la rupture, commence par faire la fermeture du courant, en maintenant celle-ci le temps nécessaire pour que le courant atteigne son maximum d'intensité dans le primaire de la bobine, les décharges produites dans ces conditions auront, pratiquement, la même valeur. Enfin, si à l'aide d'un mécanisme approprié, on arrive à obtenir que le système moteur agisse sur le ressort toujours au même moment de sa rotation, et dans les mêmes conditions à chaque tour, on aura un interrupteur qui répondra à tous les desiderata de la méthode radiochronographique.

Notre installation actuelle comporte un interrupteur de ce genre. Cet appareil se compose (fig. 7) d'un tube en acier très léger, suspendu par son extrémité inférieure au cavalier en cuivre destiné à fermer une première coupure du courant sur deux godets à mercure, placés au fond d'un grand vase rempli de pétrole. Ce tube se meut verticalement dans deux coussinets fixés sur une platine, et pour éviter les mouvements de rotation qui pourraient faire sortir le cavalier des godets à mercure, le tube porte dans son milieu une goupille en acier qui coulisse sans jeu appréciable dans une glissière de 4 cm. de longueur également en acier. Cette goupille remplit encore une autre fonction. Elle accroche, au moment où le tube commence à monter sous l'attraction du ressort, l'extrémité d'un petit levier articulé sur la platine, lequel actionne par son autre extrémité un petit cavalier destiné à fermer une seconde coupure du courant primaire. Ce cavalier se déplace également en ligne droite et dans un plan vertical. Au bout de 2 centimètres de course, la goupille quitte le contact du petit levier, car l'extrémité de celui-ci décrit un arc de cercle, et on s'arrange, en plaçant les godets à mercure à un niveau convenable, pour que le courant se trouve fermé par les deux cavaliers presque pendant tout le temps de cette course. La rupture se produit quelques instants après l'échappement de la

goupille par l'intermédiaire du grand cavalier, qui a moins d'espace à parcourir pour quitter le contact du mercure que le petit cavalier et qui, étant attiré par un ressort beaucoup plus puissant, est doué d'une vitesse de rappel beaucoup plus grande. Immédiatement après la rupture le levier est ramené par le ressort du petit cavalier à sa position initiale, de sorte que le courant ne reste jamais fermé sur la bobine. Afin de faire éclater l'étincelle de rupture dans un godet seulement, une des branches du grand cavalier est plus courte que l'autre, et le godet où se produit la rupture contient une masse de mercure suffisante, pour que le niveau de celui-ci ne change pas pendant tout le cours de l'expérience. De plus, comme ce godet est très large, il absorbe toujours le mercure projeté par la branche du cavalier. Mais nous devons dire que cette projection se trouve réduite au minimum par ce fait, que le mouvement du cavalier est absolument rectiligne, et que ce mouvement a lieu dans un plan vertical.

La vitesse de la rupture produite par cet interrupteur est très grande, moins d'un millième de seconde. Elle est en plus tout à fait constante, puisqu'elle ne dépend que de la puissance du ressort et que celui-ci travaille toujours dans les mêmes conditions.

Quant à la fermeture du courant, sa durée est aussi constante et réglable à volonté. Elle est fonction du rapport existant entre les forces des deux ressorts antagonistes qui agissent aux extrémités du petit levier, chargé de fermer la seconde coupure du courant primaire. Si ces deux forces se font équilibre, la fermeture peut durer indéfiniment, tandis que si la force du ressort propre du petit levier est nulle la fermeture devient presque aussi courte que la rupture; nous avons constaté qu'avec un courant de 50 volts seulement, on pouvait déjà obtenir de très bonnes épreuves radiographiques en fermant le courant sur la bobine $1/90$ à $1/100$ de seconde et ce temps peut être encore réduit en employant des courants d'un plus fort voltage. Nous avons donc réglé la tension du ressort du petit levier, de façon à faire durer le passage du courant dans la bobine pendant $1/100$ de seconde. Cette limite nous permet déjà de faire un grand nombre de radiographies par seconde, mais, pratiquement, nous n'avons jamais dépassé la trentaine.

Voyons maintenant comment fonctionne cet interrupteur et

comment il se trouve actionné par le système moteur de notre installation.

Par l'intermédiaire d'une chaîne qui traverse la table d'expé-

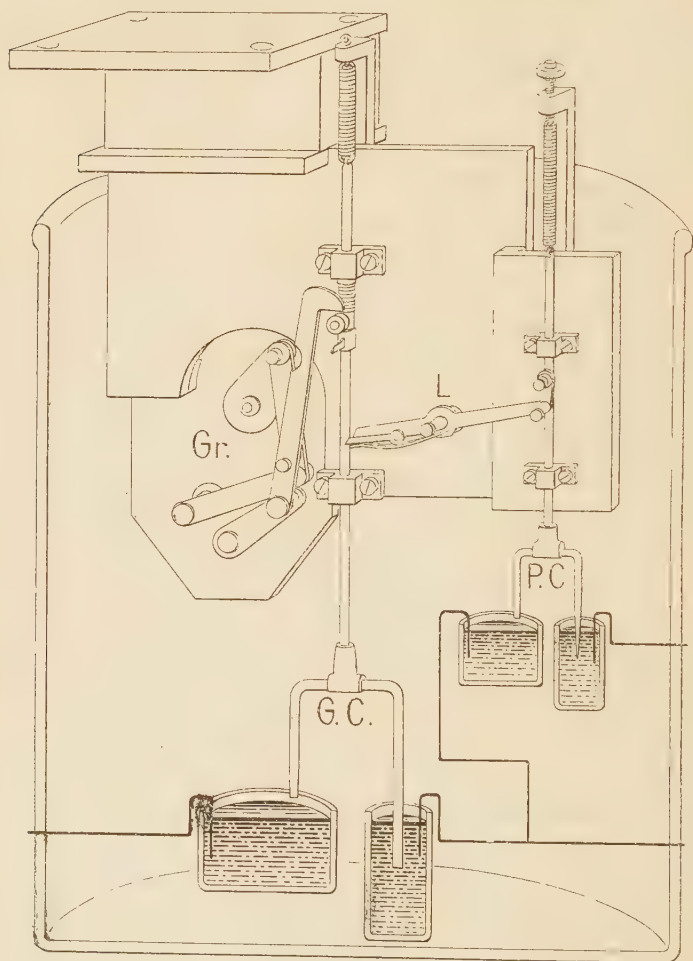


FIG. 7. — Interrupteur à ressort actionné directement par le chronophotographe.

rience et des deux pignons d'angle, dont un se trouve monté sur l'arbre moteur du chronophotographe, on transmet le mouvement de celui-ci à un axe qui se trouve au-dessous de la table, monté sur deux pieds verticaux solidement fixés au sol. Cet axe porte à son extrémité libre un système de griffe identique à celui qui nous sert pour entraîner la pellicule. Cette griffe décrit une course

de 4 centimètres, en ligne droite et dans un plan vertical. Elle accroche, au début de sa course, le tube d'acier du grand cavalier et fait descendre l'un et l'autre de 4 centimètres. A partir du vingtième millimètre, la pointe libre du grand cavalier commence à pénétrer dans le mercure et la première coupure du courant se trouve ainsi fermée. La griffe lâche à la fin de sa course, le tube d'acier, mais 2 millimètres avant, la goupille de ce tube a rencontré l'extrémité du petit levier qui fait saillie dans l'axe de la coulisse. Elle la franchit en la pliant, car cette extrémité est brisée et peut plier de haut en bas, mais immédiatement après le passage de la goupille, la partie brisée revient à sa position fixe, sous l'influence d'une petite lame de ressort qui appuie constamment sur elle. Il en résulte que, lorsque la griffe lâche le tube du grand cavalier, la goupille de celui-ci rencontre à nouveau l'extrémité du petit levier, et comme celle-ci ne peut pas se plier dans ce sens le petit levier est entraîné et fait plonger par son autre extrémité le petit cavalier dans le mercure en fermant ainsi la seconde coupure du courant. Cette fermeture se produit aussitôt que le petit levier est déplacé, car la pointe libre du cavalier qu'il actionne n'est qu'à un millimètre de distance de la surface du mercure. A ce moment, le grand cavalier plonge encore dans le mercure de 18 millimètres, et à mesure qu'il remonte, l'autre s'enfonce de plus en plus dans le mercure, de sorte que, pendant tout ce parcours, le courant se trouve fermé sur la bobine. Deux millimètres plus loin la goupille échappe et la rupture se produit avec une très grande vitesse, étant donné que le ressort de rappel n'agit plus que sur le tube d'acier et sur le grand cavalier. En même temps, l'autre ressort attire le second cavalier et ramène, avec un léger retard, le petit levier à sa position initiale. Le courant se trouve ainsi de nouveau rompu en deux endroits et l'interrupteur prêt à fonctionner une seconde fois. Ajoutons que l'axe moteur de l'interrupteur se trouve calé par rapport à l'axe moteur du chronophotographe, de telle sorte que la griffe lâche le tube et le cavalier, au moment où la pellicule est arrêtée.

2° *Bobine*. — Depuis nos premières expériences qui ont été faites, comme nous l'avons dit, avec une petite bobine de Carpentier, ne donnant que 25 centimètres d'étincelles, nous avons essayé un grand nombre de bobines de toutes marques et de toute puis-

sance avant de choisir celle que nous possédons aujourd'hui. Celle-ci est une bobine de Klingelfuss, d'une puissance moyenne, 50 centimètres d'étincelle, et dont on peut varier à volonté le nombre de tours des spires du primaire, ainsi que la capacité du condensateur. Contrairement à ce qu'on pourrait croire tout d'abord, et aux affirmations de quelques auteurs, les fortes décharges des grosses bobines ne produisent pas un meilleur rendement au point de vue radiographique. Au delà d'une limite moyenne d'intensité, l'action photogène de la décharge n'augmente pas et il arrive même avec notre bobine, lorsqu'on force beaucoup l'intensité du courant primaire, que les radiographies sont moins nettes, comme si le foyer d'émission des rayons X, au lieu d'être un point, devenait une plage. En même temps, ce grand superflu d'énergie amène la destruction rapide des ampoules et change incessamment les conditions de fonctionnement de celles-ci. Nous conseillons donc, en attendant qu'on puisse construire des ampoules pouvant supporter des décharges induites d'une grande intensité, de se contenter de bobines d'une puissance moyenne, qui sont beaucoup plus maniables et qui présentent un rendement meilleur et plus régulier.

3° *Ampoule*. — Lors de nos premières expériences radiographiques, nous nous sommes servis des ampoules Chabaud-Villard avec osmo-régulateur, mais sans refroidissement. Ces ampoules supportaient assez bien les décharges de la petite bobine de Carpentier, mais à partir du moment où nous avons employé la bobine de Klingelfuss, il a fallu que nous prenions des ampoules à anticathode refroidie, car les autres avaient leur anticathode percée au bout de quelques décharges. Nous avons utilisé, tantôt les ampoules Chabaud, tantôt les ampoules de Muller, qui offrent l'avantage d'avoir une osmo-régulation automatique. Les unes comme les autres avaient une très grande capacité, dans le but de rendre leur fonctionnement plus constant. Afin d'éviter les fortes épaisseurs de verre qu'il faut employer pour fabriquer ces grosses ampoules et diminuer autant que possible l'absorption des rayons X, nous avons fait faire un modèle qui présente à l'endroit où passent les rayons de centre du faisceau émis par l'anticathode, un renflement à parois très minces. Cette disposition augmente le rendement de l'ampoule.

La décharge de fermeture, étant assez forte pour éclairer l'ampoule et impressionner la pellicule, nous avons été obligé d'intercaler dans le circuit secondaire une soupape de Villard, qui supprime complètement cette décharge. L'ampoule est fixée sous la table d'expérience et orientée de telle sorte, que le rayon normal passe par le centre de fenêtre du chronophotographe. Un double réticule métallique, placé dans cette fenêtre, permet de faire le réglage avec une grande facilité.

Ainsi que nous l'avons déjà dit, l'état de l'ampoule influence considérablement la nature de la décharge. Si l'ampoule est molle, la décharge est beaucoup plus lente que lorsque l'ampoule est dure. D'autre part, les raies qui composent cette décharge sont plus espacées, et paraissent moins noires que celles de la décharge produite par l'ampoule dure, mais cela tient à ce que ces dernières se trouvent superposées dans l'image obtenue, par suite de ce fait que la vitesse de déplacement de la pellicule qui servait à l'expérience était insuffisante. En réalité, les ampoules molles de 5 à 10 centimètres d'étincelle équivalente, donnent des épreuves plus noires que les ampoules dures de 10 à 20 centimètres. Malgré cette influence très sensible de l'état de l'ampoule sur les conditions de production des rayons X, nous avons pu, grâce à la grande capacité de nos ampoules et au bon refroidissement de l'anticathode, faire plus de cinq cents radiographies successives ne présentant pas entre elles de différences appréciables. Il est vrai que dans ces expériences l'intervalle entre chaque radiographie était assez long (20 secondes) pour permettre à l'ampoule de mieux supporter chaque décharge, mais lorsque celles-ci se succèdent avec une grande fréquence, les ampoules finissent par s'altérer et, au bout de 100 ou 200 radiographies, il faut faire passer du gaz dans l'ampoule pour la ramener à son état primitif.

III. — Technique opératoire.

a) CHOIX, PRÉPARATION ET FIXATION DES ANIMAUX. — Toutes nos expériences ont été faites sur des animaux de petite taille et cela pour plusieurs raisons. D'abord, pour réduire à son minimum la déformation que présente l'image des rayons X, déformation qui est produite par l'obliquité de ces rayons, et qui est d'autant plus

grande que l'objet radiographié est plus volumineux. Ensuite pour pouvoir contenir l'image des organes digestifs sur une longueur de pellicule relativement petite et pouvant être tirée par le chronophotographe. Enfin, pour mieux traverser ces animaux par les rayons X, et avoir des photographies nettes et détaillées de leurs organes digestifs avec une seule décharge.

Nous avons donc choisi, dans les diverses classes de vertébrés, les espèces les plus petites et, en même temps, les plus différenciées au point de vue de l'organisation anatomique et fonctionnelle de leur appareil digestif.

Chez les poissons, nous avons pris des espèces d'eau douce, la perche, la truite, etc., parce que nous les avons plus facilement sous la main, mais nous espérons, un jour ou l'autre, pouvoir transporter nos appareils au bord de la mer et étendre nos recherches aux espèces marines, dont les organes digestifs présentent tant de particularités intéressantes.

Chez les batraciens, nos sujets d'expérience ont été le crapaud et la grenouille, et principalement celle-ci.

Chez les reptiles, le lézard.

Chez les oiseaux, le moineau, le serin, la fauvette, le poulet et le canard, ces deux derniers pendant les deux premières semaines de leur existence.

Finalement, chez les mammifères, nous'avons étudié jusqu'ici la souris, mais nous nous proposons également de radiochronographier la digestion de beaucoup d'autres espèces qui se prêtent très bien à l'expérience.

Ces divers animaux étaient nourris avec la pâte alimentaire, dont nous avons donné la composition dans la partie historique, ou avec leurs aliments habituels mélangés au sous-nitrate de bismuth. Précédemment, on les faisait jeûner afin d'éveiller leur appétit et de débarrasser leur tube digestif des matières alimentaires. La plupart d'entre eux étaient gavés, une fois fixés, de sorte que l'on pouvait les transporter tout de suite à l'appareil et avoir les premières phases de la digestion sur la pellicule. Pour d'autres espèces, comme la souris, l'expérience ne pouvait commencer que lorsque l'animal avait avalé lui-même son repas. Néanmoins, cette opération ne durait pas bien longtemps, une ou deux minutes, car les animaux avaient très faim et mangeaient avec voracité.

La fixation de ces animaux pendant l'expérience nous a demandé beaucoup de soin.

D'une part, il fallait obtenir leur immobilité absolue, et, d'autre part, nous devions éviter de leur faire du mal sous peine de troubler le cours de leur digestion. Le problème ainsi posé paraissait insoluble, mais, en réalité, il ne l'était pas.

Les poissons, qui nous semblaient être tout d'abord les moins maniables de tous les animaux, sont au contraire ceux qui se prêtent le mieux à l'expérience. Pour montrer à quel point le procédé de fixation pour ces animaux était excellent, il nous suffira de dire que nous avons pu garder une truite pendant deux jours consécutifs en expérience, sans que cet animal, dont la délicatesse est légendaire, ait éprouvé le moindre trouble.

Avec du celluloïde, matière très transparente aux rayons X, et complètement imperméable, nous avons construit un petit bac coiffant exactement la forme de l'animal et présentant à ses deux extrémités deux petits tubes en verre pour l'amenée et la sortie de l'eau. Contre une des parois latérales de ce bac et sur sa face interne nous avons collé, par un bout seulement, une petite bandelette en celluloïde, qui, écartée par un coin, exerce une pression très douce mais constante sur le corps de l'animal et le maintient dans la position qu'on lui donne. La hauteur de ce bac était sensiblement la même que l'épaisseur de l'animal, de sorte que lorsqu'on l'appliquait contre le diaphragme en papier paraffiné, fermant la fenêtre du chronophotographe, le poisson se trouvait enfermé dans une boîte complètement close, d'où il lui était impossible de sortir et dans laquelle il ne pouvait faire d'autres mouvements que les mouvements respiratoires. Disons, d'ailleurs, que l'animal se trouvait tellement bien, sous l'influence de fort courant d'eau qui traversait le bac et lui arrivait directement dans la branchie, que même sans fermer le bac il restait longtemps absolument immobile. Une planchette en bois paraffiné, portant au centre une fenêtre qui coïncide avec celle du chronophotographe, servait de support au bac. Dans le but d'assurer une bonne circulation d'eau dans celle-ci et absolument constante, nous avons placé dans l'évier du laboratoire un grand flacon qui recevait l'eau de la conduite à pleins flots et qui débordait constamment. Ce flacon se trouvait un peu au-dessus du niveau qui occupait le bac, et étant toujours rempli

d'eau, donnait une chute constante et entretenait dans le bac par l'intermédiaire d'un tube de caoutchouc une circulation très régulière, avec de l'eau fraîche et bien aérée. Un débit de 2 ou 3 centimètres cubes par seconde était suffisant, vu la faible capacité du bac, pour assurer la respiration de l'animal. Avec ce débit nous sommes arrivés à garder en vie des carpes et des perches pendant une semaine. Toutefois, dans nos expériences sur la truite, nous avons dû forcer l'intensité de la circulation et faire passer dans le bac 5 centimètres cubes d'eau par seconde.

Les moyens que nous avons employés pour la fixation des batraciens étaient beaucoup plus simples, mais pas aussi satisfaisants. La grenouille comme le crapaud se trouvaient attachés sur un châssis en toile, par des rubans en soie, cousus préalablement sur la toile et noués délicatement autour de la racine des membres de l'animal. Lorsqu'on finissait d'attacher l'animal, on mouillait légèrement son corps ainsi que la toile du châssis et on enveloppait ses extrémités avec du coton humide, pour éviter leur dessiccation. Dans quelques expériences, nous avons mis l'animal dans une auge en toile, dans laquelle il se trouvait accroupi et sans pouvoir bouger, mais nous avons constaté que cette attitude était très défavorable pour la prise des images des organes digestifs. D'un autre côté, l'animal ne semblait pas se porter beaucoup mieux dans cette attitude que lorsqu'il était ligaturé.

Le lézard aussi était attaché sur un châssis en toile, et comme la peau de cet animal est très dure, il ne souffrait pas du tout des attaches.

Quant aux oiseaux, nous les avons fixés par leurs pattes et leurs ailes sur une planche en liège, leur corps passant en partie à travers la fenêtre que cette planche présentait dans son milieu, destinée au passage des rayons X. Pour les jeunes oiseaux, il a fallu établir une circulation d'eau chaude autour de leur corps, afin de maintenir leur température constante et d'éviter le ralentissement des phénomènes moteurs.

Finalement, pour la souris, nous avons fait en celluloïde un tube conique, ouvert à ses deux extrémités, dans lequel l'animal s'engage très volontiers et où il se trouve pris sans pouvoir avancer ni reculer. Ce tube étant très mauvais conducteur de la chaleur, l'animal ne se refroidit pas, malgré l'immobilité à laquelle il est condamné.

b) MARCHÉ DE L'APPAREIL. — Après avoir fixé l'animal sur son support, on le place contre la fenêtre du chronophotographe, entre la pellicule qui passe immédiatement au-dessus de lui et l'ampoule qui se trouve au-dessous. Préalablement on amorce la pellicule. Cette opération se fait en plein jour, le magasin qui contient la pellicule vierge étant complètement fermé à la lumière. On retire de ce magasin un bout de pellicule de 50 centimètres de longueur, qu'on passe à travers le couloir à friction de la fenêtre du chronophotographe et qu'on enroule autour du cylindre d'entraînement et de la bobine réceptrice. Puis on couvre le chronophotographe avec la boîte en carton. Une ou deux décharges suffisent pour voir sur l'écran du viseur si l'animal a été bien orienté, s'il a été bien nourri et si la digestion est arrivée à la phase qu'on désire radiographier. Ces constatations faites, on met en marche le moteur, puis on embraye le chronophotographe. A partir de ce moment, on voit l'ampoule s'éclairer d'une façon intermittente à des intervalles parfaitement égaux, tandis qu'on entend la pellicule défiler pendant ces intervalles. A chaque tour, les mêmes phénomènes recommencent. L'interrupteur, actionné par l'arbre du chronophotographe, produit sa décharge sur l'ampoule au moment où la pellicule est arrêtée et la photographie se fait, puis la longueur de pellicule impressionnée est reprise par la griffe du chronophotographe et une nouvelle portion de pellicule vierge se présente devant la fenêtre prête à recevoir la prochaine image. Ces diverses opérations se réalisent toujours au même moment et ne peuvent pas empiéter les unes sur les autres, attendu que les pièces mécaniques qui les produisent n'admettent aucun décalage.

Dans le but de savoir le nombre de radiographies que nous faisons dans l'unité de temps, nous avons installé un petit contact sur l'arbre moteur du chronophotographe qui ferme à chaque tour de celui-ci le courant d'un accumulateur sur un signal de Desprez. Trois séries d'inscriptions faites au cours de l'expérience, une au début, une autre au milieu et une autre à la fin, suffisaient pour se rendre compte de la fréquence des interruptions et de la constance de celles-ci, mais nous pouvions, bien entendu, faire cette inscription continue en mettant le signal sur un chariot à déplacement automatique. On avait ainsi un contrôle constant de la vitesse de rotation du chronophotographe et par conséquent du

nombre de radiographies prises dans l'unité de temps. Ce contrôle est absolument indispensable à toute bonne méthode chronophotographique et nous nous félicitons de l'avoir installé dans la nôtre.

Dans les basses fréquences, ce contrôle se faisait directement par le pendule chargé de mettre en mouvement le moteur. La marche de ce pendule étant invariable et le nombre de contacts sur le cadran étant réglé d'avance, il était facile de savoir la fréquence des images sans aucune autre espèce de contrôle.

Un seul accumulateur, dont le courant se trouve fermé sur le relais chargé d'actionner le moteur et le déclancheur, lorsque l'aiguille de l'horloge touche le contact des heures du cadran, suffit à mettre en marche tout le système. A chacun de ces contacts l'électro-aimant du déclancheur libère la roue des engrenages pendant que le moteur démarre. Aussitôt que le chronophotographe a fait un tour complet, l'ergot de la roue vient au contact du levier du déclancheur et le système se trouve bloqué. Le moteur tourne encore quelques instants, faisant patiner la friction d'entraînement; mais après deux ou trois secondes, tout le système est au repos complet et les opérations ne recommencent que lorsque l'aiguille touche de nouveau un autre contact du cadran. Grâce à l'automatisme parfait de ce système, on peut entreprendre l'étude des phénomènes les plus lents. En se servant de l'aiguille à minutes pour fermer le courant sur le moteur, et en ne laissant qu'un contact sur le cadran, on ne fait qu'une radiographie par heure, et si la pellicule a 100 mètres de long, l'expérience peut se prolonger plus de quatre mois.

D'un autre côté, le chronophotographe peut tourner en prise directe à la vitesse maxima du moteur, c'est-à-dire à trente tours par seconde, de sorte que le même appareil peut faire depuis une photographie par heure jusqu'à trente par seconde. Cette grande échelle de fréquence permet de faire avec une extrême aisance l'étude des mouvements digestifs, malgré l'écart considérable de vitesse que présentent ces phénomènes dans la série animale, et même dans les divers organes digestifs. Notre appareil se prête également à faire l'analyse d'autres mouvements beaucoup plus rapides, ceux du cœur, par exemple, et nous nous proposons d'étendre la limite de ses applications.

TIRAGE DES BANDES POSITIVES. — Un des plus grands avantages de la méthode chronophotographique sur les autres méthodes employées jusqu'ici pour l'étude du mouvement est celui de permettre *l'analyse* et *la synthèse* des phénomènes moteurs. Ce que l'œil de l'observateur n'a pas pu apprécier, malgré l'examen attentif des épreuves photographiques isolées, la projection cinématographique de celles-ci le révèle d'une façon manifeste. Nous avons donc tout intérêt à projeter les résultats obtenus, et quoique nous eussions pu faire cette projection avec les pellicules négatives et notre propre appareil, nous avons pensé qu'il valait mieux tirer les bandes positives avec les chronophotographes ordinaires afin de permettre à tous les expérimentateurs de cinématographier nos résultats. Pour atteindre ce but, nous avons couplé notre radiochronophotographie avec le chronophotographe Lumière, de façon à commander les deux appareils par le même arbre moteur et à faire coïncider les diverses phases de leur mouvement. D'autre part, nous avons orienté le chronophotographe Lumière pour que l'image de la pellicule négative, projetée par le faisceau lumineux d'une lampe à arc, traverse le système optique de cet appareil et vienne se former après réduction sur la surface de pellicule positive qui se présente devant sa fenêtre. Dans ces conditions, le tirage des bandes positives devient extrêmement facile, et en moins d'une heure on peut tirer une bande de 100 mètres de longueur, avec plus de 3.000 images. Une fois le moteur parti, les deux chronophotographes marchent simultanément et avec une concordance parfaite, de sorte que sans aucun soin on arrive au bout des opérations.

IV. — Conclusions et résultats.

De ce travail se dégagent les conclusions suivantes :

1° La radiochronophotographie est la seule méthode qui permet de faire l'analyse et la synthèse des mouvements des organes internes du corps, dans des conditions tout à fait normales.

2° Cette méthode n'est pratiquement réalisable que lorsqu'on arrive à faire, comme nous l'avons fait, la *radiographie instantanée* des organes en mouvement, c'est-à-dire, la photographie, nette, de ces organes par une seule décharge de rupture.

3° Pour atteindre ce résultat, il faut avoir, d'une part, une

bobine puissante, actionnée par un interrupteur à faible résistance et doué d'une très grande vitesse de rupture, et, d'autre part, des pellicules très impressionnables à double couche sensible.

4° A cause de la nature oscillante de la décharge, de sa lenteur relative, et aussi à cause des variations qu'elle éprouve, suivant les conditions de fonctionnement de l'interrupteur, de la bobine et de l'ampoule, la prise des images ne peut pas se faire sur la pellicule en mouvement. Il faut donc que le radiochronophotographe soit à déplacement intermittent et que la décharge se produise au moment où la pellicule est arrêtée.

5° Le nombre absolu de radiographies qu'on peut prendre dans l'unité de temps dépend de la durée de la décharge, et comme celle-ci varie entre $1/200$ et $1/500$ de seconde, la limite de 500 par seconde ne peut pas être dépassée. Avec notre appareil nous pouvons faire, seulement, 30 radiographies par seconde, mais cette limite permet déjà d'entreprendre l'étude de la plupart des mouvements internes du corps.

6° L'obliquité des rayons X et leur propriété particulière de se propager, toujours, en ligne droite, font que l'image qu'ils projettent est agrandie et déformée, et que cette image ne peut être réduite, ni corrigée avant son impression sur la pellicule. Pour cette raison, il faut se contenter de radiographier de petits animaux, en ayant soin de les mettre tout près de la pellicule et de les placer normalement à la direction des rayons qui partent du centre de l'anticathode. Dans ces conditions, la déformation des images est inappréciable.

7° Les pellicules ainsi obtenues peuvent être projetées directement par le radiochronophotographe; mais si l'on veut se servir des cinématographes ordinaires pour la projection, rien n'est plus facile. Il suffit de tirer des pellicules positives, en réduisant les images aux dimensions courantes.

8° Notre appareil radiochronophotographique présente une très grande souplesse et une très grande régularité dans son fonctionnement. Il permet de faire, depuis une radiographie par heure jusqu'à trente par seconde, et si l'on dispose d'une pellicule de 100 mètres de longueur, on peut, dans une seule expérience, prendre plus de 3.000 photographies d'un même phénomène. Pendant ce temps les diverses opérations s'accomplissent réguliè-

rement et sans aucune intervention de la part de l'expérimentateur.

9° Grâce à ces qualités de notre appareil, nous avons pu réussir à photographier les mouvements du tube digestif dans la série des vertébrés, malgré les grandes différences de vitesse que présentent ces mouvements en passant d'un animal à l'autre et pour un même animal dans les diverses portions du tube digestif. Ce n'est pas ici le lieu de faire l'analyse des phénomènes moteurs de la digestion. Nous nous contenterons seulement de reproduire quelques-uns des résultats que nous avons obtenus, afin de montrer la variété et la complexité de ces phénomènes, ainsi que l'intérêt qui s'attache à notre méthode.

Vu par le président de la thèse :

CHARLES RICHEL.

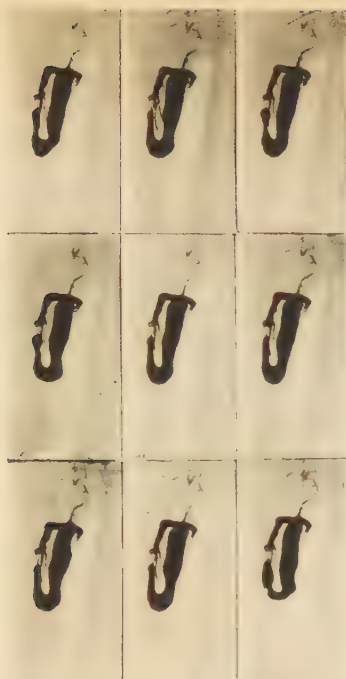
Vu :

Le Doyen : L. LANDOUZY.

Vu et permis d'imprimer,

Le vice-recteur de l'Académie de Paris,

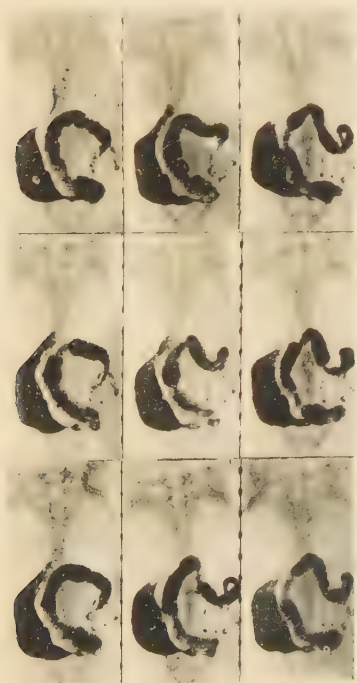
L. LIARD.



N° 1. — Radiochronographie de l'estomac et de l'intestin de la Truite. Une photographie toutes les 20 secondes.



N° 2. — Radiochronographie de l'appareil digestif de la Grenouille, œsophage, estomac et intestin. Une photographie toutes les 2 secondes



N° 3. — Radiochronographie de l'estomac et de l'intestin du Crapaud. Une photographie toutes les 10 secondes.



N° 4. — Radiochronographie de la déglutition du Lézard. Une photographie toutes les minutes et demie.

Fig. 8. — Radiochronographies de l'appareil digestif des animaux à sang froid : Truite, le Crapaud, la Grenouille et le Lézard. Lire de haut en bas et de gauche à droite.



Phototypie Berthaud, Paris

Fig. 12. — Radiochronophotographie instantanée (une seule décharge par photographie) de l'estomac et de l'intestin de la Souris. Cinq photographies par secondes. Lire de haut en bas et de gauche à droite.



Phototypie Berthaud, Paris

Fig 13. — Radiochronophotographie instantanée (une seule décharge par photographie) de l'estomac et de l'intestin du Poulet. Cinq photographies par seconde. Lire de haut en bas et de gauche à droite. Cette planche reproduit les diverses phases d'une révolution du gésier qui dure exactement cinq secondes.

